

А.Н. ДУБОВЕЦ, канд. техн. наук, доц., УИПА, Харьков,
В.И. ТОШИНСКИЙ, докт. техн. наук, проф., НТУ «ХПИ»,
М.А. ПОДУСТОВ, докт. техн. наук, проф., НТУ «ХПИ»,
И.И. ЛИТВИНЕНКО, канд. техн. наук, проф., НТУ «ХПИ»,
Е.И. ЛИТВИНЕНКО, канд. техн. наук, доц., НТУ «ХПИ»

РАЗРАБОТКА РАДИОИЗОТОПНОГО ПРИБОРА ДЛЯ ИЗМЕРЕНИЯ ПЛОТНОСТИ ЖИДКОЙ СРЕДЫ И ТОЛЩИНЫ СТЕНОК ТРУБОПРОВОДА

У статті наводяться результати графічного моделювання для розробки радіоізотопного приладу, що вимірює одночасно щільність середовища і товщину стінок трубопроводу, в якому транспортується вимірюване рідке середовище. Описана конструкція пропонованого щільноміра-товщиноміра.

В статье приводятся результаты графического моделирования для разработки радиоизотопного прибора, измеряющего одновременно плотность среды и толщину стенок трубопровода, в котором транспортируется измеряемая жидкая среда. Описана конструкция предлагаемого плотномера-толщиномера.

In the article the results of graphic design were brought for development of radioisotope device, measuring the environment closeness and pipeline's wall thickness a measureable liquid environment was transported in which simultaneously. The construction of the offered densimeter-gaugemeter was described.

Трубопроводы являются наиболее распространенным средством для транспортировки жидких сред как внутри промышленных предприятий, так и для доставки указанных сред на предприятия для последующей переработки или хранения. Многие из жидких сред обладают агрессивными (например, кислоты) и абразивными (пульпы, суспензии, шламы) свойствами, что приводит к постепенному износу стенок трубопровода и далее к аварийной ситуации – разрыву трубопровода, чему способствует высокое давление жидкой среды в трубопроводе.

Для исключения аварийных ситуаций и непрерывного слежения за толщиной стенок трубопроводов могут использоваться радиоизотопные толщиномеры, основанные на известной зависимости

$$J = J_0 \exp(-\mu \rho x) \quad (1)$$

где J – интенсивность энергетически однородного пучка γ -лучей, прошедших через слой вещества (толщина двух стенок трубопровода, через которые проходит пучок γ -лучей, направленный перпендикулярно стенкам трубопровода); J_0 – интенсивность γ -излучения на поверхности слоя; μ_{mp} – массовый коэффициент ослабления пучка γ -лучей стенками трубопровода; ρ_{mp} – плотность слоя вещества (стенок трубопровода); x – толщина слоя вещества (двух стенок трубопровода).

Однако формула (1) справедлива в том случае, когда через трубопровод транспортируется газ или когда трубопровод не заполнен жидкой средой. Если через трубопровод движется жидкая среда, то формула (1) приобретает вид

$$J = J_0 \exp \left[-(\mu \rho x + \mu_c \rho_c x_c) \right], \quad (2)$$

где μ_c – массовый коэффициент ослабления пучка γ -излучения жидкой средой, протекающей внутри трубопровода; ρ_c – плотность жидкой среды; x_c – толщина слоя жидкой среды в трубопроводе.

Принимая во внимание, что жидкая среда может иметь различную плотность, изменяющуюся во времени при ее транспортировке в трубопроводе, можно утверждать, что при использовании радиоизотопного метода для измерения толщины стенок трубопровода в промышленных условиях необходимо непрерывно знать текущее значение плотности жидкой среды, протекающей в трубопроводе, и в результаты измерения толщины стенок трубопровода непрерывно вводить коррекцию на плотность жидкой среды.

Следует отметить, что противоположная проблема имеет место при измерении плотности жидких сред в промышленных трубопроводах, так как поток γ -излучения проходит через стенки трубопровода и исследуемую среду. При разработке плотномеров предполагается, что стенки трубопровода остаются неизменной, хотя они под действием агрессивных и абразивных свойств жидких сред изнашиваются, изменяя свою толщину. В большинстве случаев материал стенок трубопровода имеет плотность в 4 – 5 раз больше плотности контролируемой среды. Поэтому, как показывают расчеты, изменение толщины стенок в 20 мм на половину в трубопроводе диаметром 200 мм приводят при измерении плотности жидкой среды в трубо-

проводе радиоизотопным методом к возникновению дополнительной погрешности в пределах (3,5 – 5,0) %, что в большинстве случаев недопустимо. Кроме того, процесс изменения толщины стенок трубопровода не подлежит управлению и измерению, что не позволяет вносить в результаты контроля плотности среды соответствующие коррекции.

Достаточно часто (как показывает практика) при измерении толщины стенок напорного трубопровода необходимо измерять плотность среды в трубопроводе (химическая, строительная, обогащательная отрасли промышленности), поэтому рационально создавать средства измерения, измеряющие одновременно и плотность жидкой среды в трубопроводе и толщину стенок трубопровода с допустимой технологией погрешностью.

Очевидно, что толщина стенок трубопровода при любом ее значении не будет влиять на точность измерения плотности жидкой среды, протекающей в трубопроводе в том случае, если из модели выходного сигнала радиоизотопного плотномера будет исключена толщина стенки трубопровода. Указанное возможно (что подтверждают и данные специальной литературы, и результаты графического моделирования), если:

- 1) осуществляется сканирование трубопровода с контролируемой средой γ -излучением по двум каналам;
- 2) в каждом из каналов сканирования толщины стенок трубопровода одинаковы;
- 3) в одном из каналов сканирования длина пути γ -излучения через контролируемую среду больше, чем в другом;
- 4) разность длин путей γ -излучения через контролируемую среду в каналах сканирования достаточна для обеспечения заданной чувствительности плотномера к изменению плотности и допустимой погрешности измерения;
- 5) в качестве выходного сигнала радиоизотопного плотномера принимается разность интенсивностей γ -излучений, прошедших через первый и второй каналы сканирования.

Известно, что плотность жидкой среды, состоящей из двух фаз (жидкой и твердой, например, плотность пульпы), описывается формулой

$$\rho_c = n\rho_m + (1 - n)\rho_{ж}, \quad (3)$$

где ρ_c – плотность контролируемой жидкой среды; ρ_m – плотность твердой фазы; $\rho_{ж}$ – плотность жидкой фазы; n – концентрация твердой фазы в кон-

тролируемой среде; $(1 - n)$ – концентрация жидкой фазы в контролируемой среде.

На основе (3) можно предположить, что твердой фазой можно условно считать стенки трубопровода, а жидкой фазой – жидкую среду, которая движется в трубопроводе.

С учетом сказанного справедливо равенство

$$\rho_{\Sigma} = 2l_{cm}\rho_{mp} + (1 - 2l_{cm})\rho_c \quad (4)$$

где ρ_{Σ} – средняя плотность «среды», состоящей из стенок трубопровода и жидкой среды, протекающей в трубопроводе; l_{cm} – толщина стенки трубопровода; ρ_{mp} – плотность вещества стенки трубопровода; ρ_c – плотность жидкой среды, движущейся в трубопроводе.

Преобразуя (4), получим $(\rho_{\Sigma} - \rho_c) = 2l_{cm}(\rho_{mp} - \rho_c)$, откуда

$$l_{cm} = \frac{(\rho_{\Sigma} - \rho_c)}{2(\rho_{mp} - \rho_c)} \quad (5)$$

Из (5) следует, толщина стенки трубопровода может быть автоматически измерена, если в каждый момент времени известно значение плотности жидкой среды в трубопроводе (независимо от переменной во времени толщины стенок трубопровода) и средняя плотность «условной среды», состоящей из стенок трубопровода и жидкой среды, движущейся в трубопроводе.

Очевидно также, что при переменности во времени толщины стенок трубопровода плотность среды в трубопроводе с допустимой (минимально возможной) погрешностью может быть измерена только в том случае, когда в формуле выходного сигнала плотномера, являющейся математической моделью выходного сигнала, отсутствуют стенки трубопровода.

Указанное возможно при использовании принципа двухканального сканирования γ -излучением трубопровода с контролируемой средой, когда первый канал сканирования расположен, например, в плоскости, проходящей через ось трубопровода под углом $(40 - 45)^\circ$, а второй – в плоскости, перпендикулярной оси трубопровода. При этом путь γ -излучения в контролируемой

среде – l_1 в первом канале сканирования должен быть больше пути излучения в контролируемой среде – l_2 во втором канале сканирования, а $\Delta l = l_1 - l_2 = const$ быть достаточной для обеспечения заданной чувствительности плотнoмера к изменению плотности среды и допустимой погрешности измерения ее плотности.

Очевидно также, что один из каналов сканирования (вероятнее всего первый) должен обеспечивать при известной плотности контролируемой среды измерение толщины стенок трубопровода в соответствии с формулой (5). Так как толщина стенок трубопровода в каналах сканирования должна быть равной и изнашиваться идентично, то трубопровод (в идеальном случае) должен в зоне контроля плотности и толщины стенок располагаться вертикально, а потоки излучения в каналах сканирования наклонены к стенке трубопровода под одинаковым углом.

Результаты разработок. Конструкция плотнoмера-толщиномера, реализующая вышеизложенные требования, приведена на рис. 1.

На рис. 2 показаны взаиморасположение каналов к К1 и К2, и геометрические параметры К1, на рис. 3 – толщина $\Delta l_{кл}$ клина, при которой обеспечи-

вается равенство интенсивностей потоков J_1 и J_2 , поступающих на вход блока преобразования 4.

Плотнoмер-толщиномер содержит зону контроля 1, выполненную в виде участка трубопровода, два источника γ -излучения 2 и 3, установленные на стенке трубопровода, блок преобразования 4, (состоящий из приемника γ -излучения, устройств запоминания значений интенсивностей потоков излучения J_1 и J_2 , поступающих в блок 4 по каналам К1 и К2, определения разности

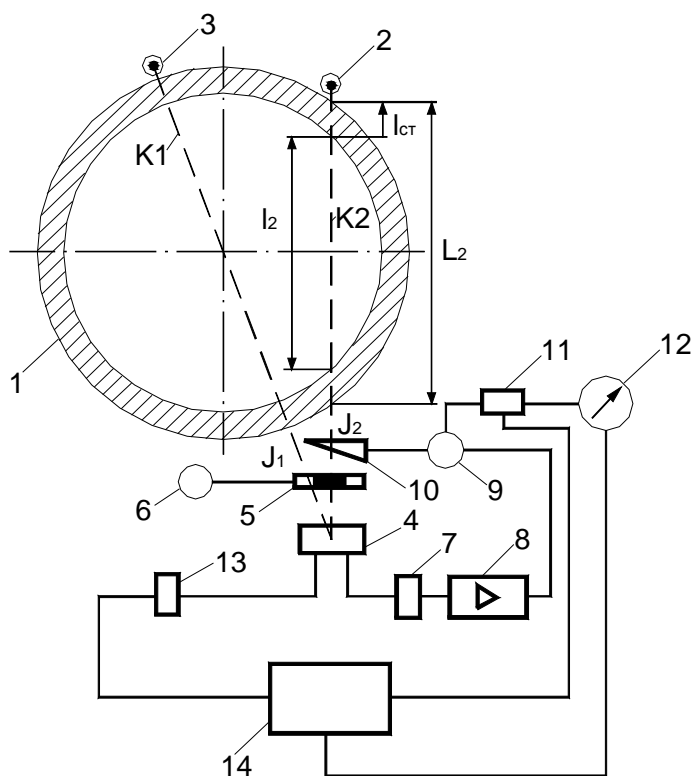


Рис. 1. Конструкция плотнoмера-толщиномера

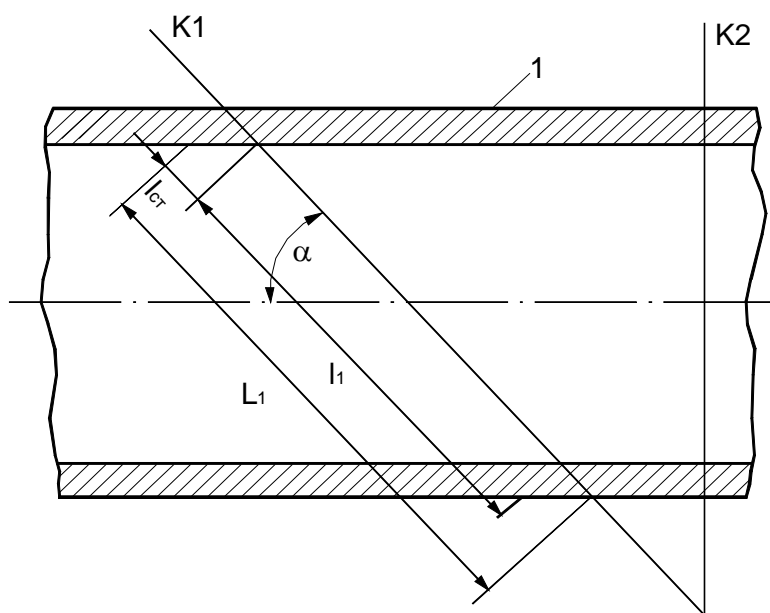


Рис. 2. Взаиморасположение каналов к K1 и K2 и геометрические параметры K1

образователь 11, двухшкальный вторичный прибор 12, преобразователь 13 и микропроцессорный блок 14, выполняющий расчет толщины стенок трубопровода на основе поступающей на его входы информации о текущих значениях ρ_{Σ} , ρ_c , и $\rho_{тр}$.

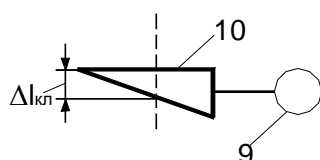


Рис. 3. Компенсационный клин

Работа плотномера-толщиномера осуществляется следующим образом.

Источники излучения 2 и 3, непрерывно сканируют зону контроля – трубопровод 1 с исследуемой средой, направляя потоки γ -излучения J_1 и J_2 соответственно по каналам K1 и K2, первый из которых расположен в плоскости, проходящей через ось трубопровода, второй – перпендикулярно оси трубопровода. Прерыватель 5 попеременно направляет потоки излучения на вход блока преобразования 4. Первоначально компенсационный клин 10 устанавливается в положение, при котором при минимальной плотности среды (в выбранном диапазоне измерения) стрелка прибора 12 (по шкале измерения плотности) находится на начальной отметке шкалы. В данном случае $J_1 = J_2$ и разность $\Delta l = l_1 - l_2$ длин путей потоков γ -излучений в контролируемой жидкой среде в каналах K1 и K2 компенсируется начальной толщиной компенсационного клина $\Delta l_{кл.н}$, расположенного между стенкой трубопровода 1 и прерывателем 5 в канале K2.

$\Delta J = J_1 - J_2$ и устройства для разделения выходных сигналов, пропорциональных ΔJ и J_1), установленный с противоположной (относительно источников излучения) стороны трубопровода, прерыватель 5 с приводом 6, преобразователь 7, усилитель 8, реверсивный двигатель 9, компенсационный клин 10, измерительный пре-

$$J_1 = J_0 \exp \left[- \left(2l_{cm} \mu_{mp} \rho_{mp} + l_1 \mu_c \rho_c \right) \right]$$

$$J_2 = J_0 \exp \left[- \left(2l_{cm} \mu_{mp} \rho_{mp} + l_2 \mu_c \rho_c + \Delta l_{кл.н} \mu_{кл} \rho_{кл} \right) \right]$$

Если плотность контролируемой среды в зоне контроля увеличивается, то нарушается равенство $J_1 = J_2$ и имеет место $J_1 > J_2$, в блоке 4 возникает сигнал разбаланса, который поступает на вход преобразователя 7, усиливается фазочувствительным усилителем 8 и приводит после усиления в действие реверсивный двигатель 9. Двигатель перемещает компенсационный клин 10, увеличивая его толщину $\Delta l_{кл.н}$ в канале К2 до тех пор, пока не установится равенство $J_1 = J_2$. Вал двигателя кинематически соединен с измерительным преобразователем 11, выходной сигнал которого, пропорциональный плотности контролируемой жидкой среды, поступает на вход двухшкального вторичного прибора 12, фиксирующего текущее значение плотности контролируемой среды по первой шкале.

Измерение толщины стенок трубопровода осуществляется микропроцессорным блоком 14, в память которого заложено значение плотности материала трубопровода ρ_{mp} и на входы которого одновременно поступают преобразованные промежуточными преобразователями 7 и 13 ко входу микропроцессорного блока значения ρ_{Σ} (плотность «условной» среды, состоящей из стенок трубопровода и контролируемой жидкой среды) и ρ_c (плотность контролируемой среды в трубопроводе).

Микропроцессорный блок 14 осуществляет расчет текущего значения толщины стенок трубопровода по формуле (5) $l_{cm} = (\rho_{\Sigma} - \rho_c) / 2(\rho_{mp} - \rho_c)$ и вырабатывает выходной сигнал, который поступает на вход двухшкального прибора 12, вторая шкала которого проградуирована в единицах измерения толщины стенки трубопровода.

На основе вышеприведенной информации, базирующейся на данных специальной литературы и результатах графического моделирования можно утверждать, что имеются достаточные предпосылки для разработки радиоизотопного прибора, измеряющего одновременно и плотность контролируемой жидкой среды и толщину стенок трубопровода, в котором указанная среда транспортируется.

Список литературы: 1. Кулаков М.В. Технологические измерения и приборы для химических производств: учебник для вузов / М.В. Кулаков. – [3-е изд.]. – М.: Машиностроение, 1983. – 424 с. 2. Деклараційний патент на корисну модель № 20040604482 України, 7 G01N9/14. Радіоізотопний густиномір / Резниченко М.К., Дубовець О.М., Лях Б.Г., Тошинський В.І., Литвиненко І.І.; заявник і патентотримач Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут». – № 4574; заявл. 09.06.04; опубл. 17.01.05, Бюл. № 1. 3. Патент на корисну модель № u 2008 00040 України, МПК (2006) G01B 15/00. Радіоізотопний густиномір / Дубовець О.М., Тошинський В.І., Литвиненко І.І., Лях Б.Г., Подустов М.О., Кравцов М.К.; заявник і патентотримач Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут». – № 32282 G01B 15/00; заявл. 02.01.08; опубл. 12.05.08, Бюл. № 9.

Поступила в редколлегию 06.04.11

УДК 661.968

А.В. ПОПОК, аспирант, ИПМаш НАН Украины

ПРИМЕНЕНИЕ ТСК В ВОДОРОДНЫХ КРИОГЕННЫХ СИСТЕМАХ

Запропоновано використання металогібридного ТСК в установці для реожигення водню під час його зберігання та транспортування в криогенних резервуарах. Застосування ТСК дозволяє повністю або частково відмовитись від використання електричної енергії, вилучити зі схеми попереднє азотне або гелієве охолодження. Проведено вибір раціонального варіанту схеми без додаткового холододжерела. Показано, що застосування для стиску водню ТСК, що використовує у якості адсорбента LaNi_5 або FeTi , дозволяє знизити витрати первинної енергії на 30 – 40 %.

Предложено использование металлогидридного ТСК в установке для реожигения водорода при его хранении и транспортировании в криогенных резервуарах. Применение ТСК позволяет полностью или частично отказаться от использования электрической энергии, исключить из схемы предварительное азотное или гелиевое охлаждение. Проведен выбор рационального варианта схемы без дополнительного холодоисточника. Показано, что применение для сжатия водорода ТСК, использующего в качестве адсорбента LaNi_5 или FeTi , позволяет снизить затраты первичной энергии на 30 – 40 %.

Proposed the application of a metal-hydride TSC in device for re-fluidization of the hydrogen during storage and transportation in cryogenic tanks. Application of a TSC in whole or in part to renounce the use of electric power to exclude from the scheme prior nitrogen or helium cooling. A selection of the optimal variant of the scheme without further holodoistochnika. It is shown that the application for the compression of hydrogen TSC using as an adsorbent LaNi_5 or FeTi , reduces the cost of primary energy by 30 – 40 %.